



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia
Vigilada Mineducación

**INFLUENCIA EN LA TRASFERENCIA DE CARGA OCASIONADA POR LA
INCORRECTA INSTALACION DE DOVELAS EN LOSAS DE PAVIMENTO
RIGIDO MEDIANTE UN ANALISIS NUMERICO.**

IVÁN FERNANDO PÉREZ SÁNCHEZ

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTÁ D.C JUNIO DE 2018**

**INFLUENCIA EN LA TRASFERENCIA DE CARGA OCACIONADA POR LA
INCORRECTA INSTALACION DE DOVELAS EN LOSAS DE PAVIMENTO RIGIDO
MEDIANTE UN ANALISIS NUMERICO.**

IVÁN FERNANDO PÉREZ SÁNCHEZ

Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Ingeniería de Pavimentos.

ASESOR: JUAN CARLOS RUGE CARDENAS

Ingeniero Civil, PhD.

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTÁ D.C JUNIO DE 2018**



Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciente (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Compartir bajo la Misma Licencia — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

Agradecimientos y dedicatoria.

A mis padres por su continuo apoyo y perseverancia, a mi hija por su alegría y fortaleza en todo momento, a Lili por su cariño incondicional, a mis profesores por su ejemplo y motivación, a mis amigos por su compañía en el trasegar de la vida.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
1. GENERALIDADES.....	10
1.1 Línea de Investigación	10
1.2 Planteamiento del Problema.....	10
1.2.1 Antecedentes del problema.....	10
1.2.2 Pregunta de investigación.....	11
1.2.3 Variables del problema.....	11
1.3 Justificación.....	11
1.4 Objetivos	12
1.4.1 General	12
1.4.2 Específicos.....	12
2. MARCO REFERENCIAL.....	13
2.1 Marco Teórico.....	13
2.1.1 Juntas.....	14
2.1.2 Dovelas.....	17
3. METODOLOGIA.....	18
3.1 Parámetros del Modelo.	18
4.0 ANALISIS DE RESULTADOS.....	22
4.1 Dovelas desviadas 30° Horizontalmente.....	22
4.2 Dovelas desviadas 25° verticalmente.....	25
4.3 Dovelas sin desviación.....	28
4.4 Comparativo al esfuerzo cortante de las dovelas 2, 5 y 8	31
5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	34

LISTA DE FIGURAS.

PAG.

FIGURA 1 ALABEO EN LOSAS.	15
FIGURA 2 EJEMPLOS DE INSTALACIÓN DE DOVELAS.	17
FIGURA 3 PARAMETROS DEL MODELO.	19
FIGURA 4 DESPLAZAMIENTO DE LA CARGA.	20
FIGURA 5 ÁNGULOS DE DESVIACIÓN EN LAS DOVELAS	21
FIGURA 6 MOMENTOS MAX. ESCENARIO 1	22
FIGURA 7 GRAFICA CORTANTES MAX. ESCENARIO 1	23
FIGURA 8 GRAFICA MOMENTOS MAX. ESCENARIO 1	23
FIGURA 9 DEFORMACIONES Y ESFUERZOS ESCENARIO 1	24
FIGURA 10 CORTANTES MAX. ESCENARIO 2	26
FIGURA 11 MOMENTOS MAX. ESCENARIO 2	26
FIGURA 12 ESFUERZO Y DEFORMACIÓN. ESCENARIO 2	27
FIGURA 13 CORTANTES MAX. ESCENARIO 3	29
FIGURA 14 MOMENTOS MAX. ESCENARIO 3	29
FIGURA 15 ESFUERZOS Y DEFORMACIONES ESCENARIO 3	30
FIGURA 16 COMPORTAMIENTO AL ESFUERZO CORTANTE DOVELA 2 ESCENARIOS 1, 2 Y 3	31
FIGURA 17 COMPORTAMIENTO AL ESFUERZO CORTANTE DOVELA 5, ESCENARIOS 1, 2 Y 3	32
FIGURA 18 COMPORTAMIENTO AL ESFUERZO CORTANTE DOVELA 8, ESCENARIOS 1, 2 Y 8	32

LISTA DE TABLAS.

	Pag.
TABLA 1 DIMENSIONES DE LOSA PARA SUBBASES NO ESTABILIZADAS.	16
TABLA 2 DIMENSIONES DE LOSA PARA SUBBASES ESTABILIZADAS.....	16
TABLA 3 RELACIÓN DE POSICIÓN Y DISTANCIA DE LA CARGA DE DISEÑO.....	20
TABLA 4 CORTANTES MAX. ESCENARIO 1	22
TABLA 5 CORTANTES MAX. ESCENARIO 2.....	25
TABLA 6 MOMENTOS MAX. ESCENARIO 2	25
TABLA 7 CORTANTES MAX. DOVELAS SIN CAMBIO.	28
TABLA 8 MOMENTOS MAX. DOVELAS SIN CAMBIO.	28
TABLA 9 COMPARATIVO ESFUERZO CORTANTE DOVELAS 2, 5 Y 8 ESCENARIOS 1, 2 Y 3	31

RESUMEN

La modelación de tres diferentes situaciones (escenarios) en las que se desplaza un vehículo de 12ton. Sobre dos losas de pavimento rígido con pasadores de transferencia en la junta transversal tomando registro de los esfuerzos máximos de “Cortante” y “Momento” en cada pasador y cada vez que el vehículo se desplaza 50cm hasta recorrer las dos losas.

En el escenario 1 Se simula la colocación de 11 pasajuntas de los cuales en 3 de ellos se alterara la orientación horizontal en 30° para evaluar el efecto con respecto al conjunto.

Para el escenario 2 se realizara con la misma configuración de dovelas a la anterior pero desviando las mismas tres de manera vertical en un Angulo de 25° registrando los valores de cortante y momento a medida que desplazamos la carga.

Para el escenario 3 La modelación de las dovelas se realiza sin alteración de ninguna de ellas con el fin de realizar un comparativo con los dos anteriores escenarios.

INTRODUCCION

Entender cómo es el comportamiento de los pasadores de transferencia de carga en las losas de concreto rígido ante una carga móvil.

El uso de sanas prácticas en la construcción de losas industriales y un correcto análisis de la necesidad ingenieril redundan en productos que satisfacen las expectativas de durabilidad, calidad y costos, por el contrario una deficiente calidad u omisión en los procesos de control conlleva a mayores costos por reparaciones no consideradas y la disminución en la vida útil de las losas.

La instalación de las dovelas para transferencia de carga en losas de pavimentos rígidos obedece a un análisis de las solicitudes de carga a la que es sometida la losa durante su vida útil, siendo esta responsabilidad del ingeniero diseñador definiendo el diámetro y la cantidad de barras para tal fin, mas sin embargo la correcta colocación en obra de estos elementos corresponde al constructor y es su responsabilidad la correcta implementación en obra.

El proyecto complementa la línea de estudio iniciada en 2014 por las ingenieras Lina María Botina Rodríguez y América Yuditza Rodríguez Fonseca simulando con asistencia por un software de elementos finitos las diferencias de desempeño entre losas con errores de instalación en las dovelas para transferencia de carga.

1. GENERALIDADES.

1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Dando continuidad al tema de investigación fijado por la universidad y dirigido por el Ingeniero Juan Carlos Ruge en cuanto a la aplicación de modelos matemáticos para el análisis del comportamiento de materiales y elementos estructurales sometidos a esfuerzos de carga repetitiva y la curiosa necesidad de conocer sobre el aporte de los elementos de transferencia de carga en las losas de pavimento rígido la directriz del presente proyecto es la Modelación por elementos finitos de dovelas para transferencia de carga.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El daño prematuro que presentan algunas losas de uso industrial e igualmente en las vías de pavimento rígido en la ciudad las cuales se someten a cargas previstas en la etapa de diseño, es un indicio de los errores ocasionados durante la fase de construcción, errores generados posiblemente por desconocimiento u omisión de procedimientos constructivos.

Hoy en día no es muy conocido el grado de afectación en un arreglo de losas de pavimento rígido por causa de un mal procedimiento en la instalación de las dovelas de transferencia, los métodos tradicionales de cálculo tienden a ser dispendiosos en el momento de evaluar estas situaciones por lo que la tecnología ofrece una alternativa valiosa para determinar estas afectaciones, como lo es el uso de un software con interface gráfica.

1.2.1 Antecedentes del problema

El estudio de losas industriales en Colombia es un tema relativamente reciente impulsado por la entrada de las grandes cadenas de almacenes a nuestro país, el auge de los centros comerciales y la incorporación de sistemas de transporte masivo en las diferentes ciudades los cuales en sus patios de mantenimiento y portales de abordaje de pasajeros requieren de pavimentos con especificaciones propias para este uso.

En el año 2008 el Ingeniero Luis Ricardo Vásquez Varela hace público el documento “Curso de actualización en pavimentos: Diseño simplificado de pavimentos rígidos, Método de la Portland Cement Association” en el aclara las razones del uso de pasadores para transferencia de carga en algunas losas para pavimento rígido, explica los efectos causados por el alabeo y algunas formas de mitigar su daño, entre los que menciona el uso de pasadores de transferencia.

En Junio de 2009 el Ing. Diego Orlando Garzón Vergara presentó como tesis para Maestría de la Universidad Nacional de Colombia, el estudio sobre la eficiencia en la transferencia de cargas en

juntas transversales de pavimento rígido reforzado con fibras metálicas, quien realizo pruebas en campo y laboratorio midiendo deformaciones en juntas Macho-hembra con diferentes cuantías de fibra metálica.

En el año 2014 las Ingenieras Lina María Botina Rodríguez y América Yuditza Rodríguez Fonseca presentaron el proyecto de grado para optar el título como ingenieros de la Universidad Católica de Colombia, una modelación numérica de barras de transferencia en pisos industriales de concreto rígido, en él simularon mediante un software de elementos finitos los valores de cortante y momento para diferentes arreglos de pasadores en las juntas producidas por una carga critica en las losas.

1.2.2 Pregunta de investigación

¿Cómo influye en la transferencia de carga la incorrecta instalación de Dovelas en losas de pavimento rígido mediante un análisis numérico?

1.2.3 Variables del problema.

Se presentan:

- “V” Cortantes o Cizalladora de los pasadores de transferencia.
- “M” Momentos actuantes por los pasadores de transferencia.
- Deformaciones en las juntas de losa.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En el desempeño de las losas y su durabilidad se involucran diferentes aspectos de diseño y construcción, en la fase de diseño se define el uso y tipo de los elementos de transferencia de carga entre los más conocidos y utilizados se encuentran las dovelas, en la fase de construcción de algunos proyectos se ha encontrado que estos elementos no se instalan de acuerdo con lo establecido en el diseño.

Es necesario estudiar la condición de respuesta de las dovelas cuando la instalación de estos elementos responsables de la transferencia presentan anomalías como: desviaciones horizontales o verticales.

1.4 OBJETIVOS

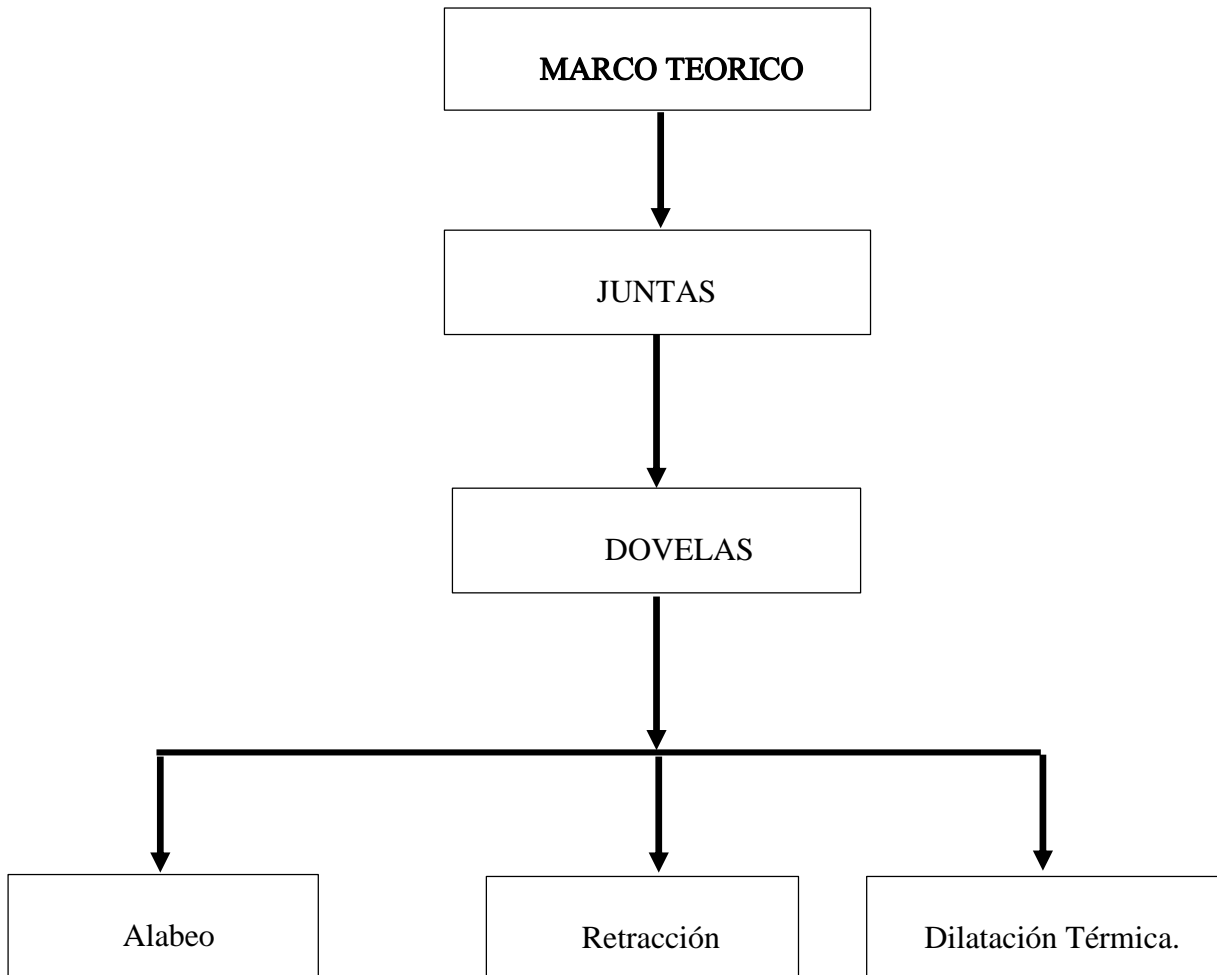
1.4.1 General

Evaluar la influencia en la transferencia de carga ocasionada por la incorrecta instalación de dovelas en losas de pavimento rígido mediante un análisis numérico.

1.4.2 Específicos

- Considerar el estado del arte sobre el diseño de dovelas para pavimentos rígidos específicamente en pisos industriales.
- Establecer los parámetros de diseño para las simulaciones que correspondan al planteamiento del problema.
- Efectuar las modelaciones requeridas a través de un software de elementos finitos comparando los resultados de respuesta de algunas dovelas mal instaladas (3) con unas bien instaladas en las mismas condiciones de modelación.
- Analizar los resultados de los esfuerzos al cizallamiento, momentos actuantes y deformación de las losas en la situación de mayor exigencia por la carga.
- Establecer las recomendaciones a implementar en la etapa constructiva de las losas.

2. MARCO REFERENCIAL



2.1 MARCO TEÓRICO

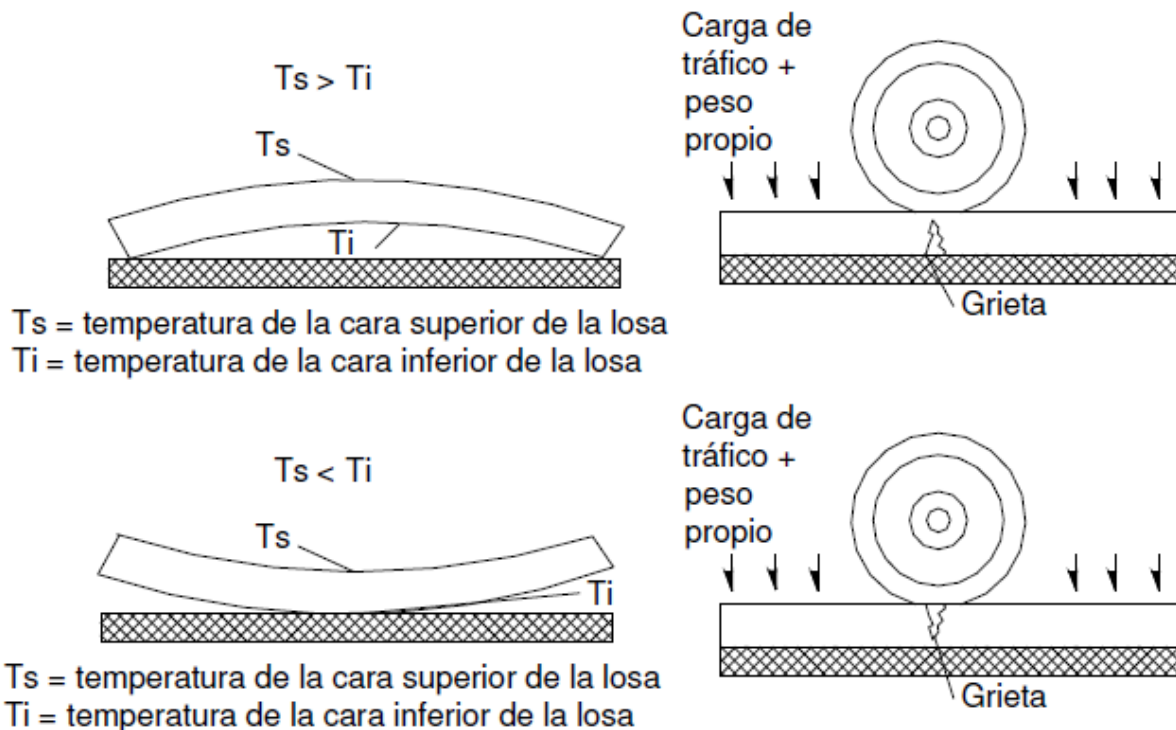
La forma ideal de los pavimentos rígidos es una losa ancha y continua, sin interrupciones muy similar a los pavimentos flexibles en los que es difícil determinar donde inicia y donde termina, esto no es posible en esta clase de pavimentos a causa de diferentes motivos entre los que nombrare está el comportamiento de los materiales que lo conforman, la reacción química para volverse un solo elemento ocasionando cambios volumétricos por la pérdida de agua induciendo tensiones internas que al final de la etapa de fraguado superan la resistencia a la tensión del material y desemboca en la fisuración del elemento, dado que no es posible evitar esta situación por las condiciones propias del material si es posible controlar el sitio de fisuración tomando en cuenta algunas recomendaciones técnicas de la experiencia en estos materiales como son el material de soporte de la losa

2.1.1 Juntas.

Como se mencionó en el párrafo anterior la combinación de materiales y el proceso constructivo en las losas nos lleva a la construcción de juntas, estos mecanismos de control de fisuración son diseñados de acuerdo a la necesidad en la losa (retracción de concreto, Dilatación térmica, Discontinuidad en el proceso constructivo, alabeo...etc.) Podemos observar algunos de estos parámetros en las ilustraciones 1 y 2

- Retracción del concreto.
El concreto endurecido ocupa menos espacio que la mezcla fluida asimismo la retracción lineal es mayor en elementos con una relación volumen – área tan pequeña como aquella de las losas del pavimento, la gravedad de este fenómeno radica en la resistencia que se presenta por la fricción con el terreno, sumada al efecto de las pendientes del trazado, la cual produce esfuerzos de tensión que causan fisuras una vez se supere la resistencia del concreto, este fenómeno genera la necesidad de construir las “juntas de contracción” en sentido transversal.
- Dilatación térmica.
Este fenómeno produce esfuerzos de compresión en presencia de elementos que confinen la losa de pavimento. Su efecto puede ser perjudicial en los puntos donde el pavimento interactúa con otros elementos como postes, puentes, cámaras de inspección y tapas de alcantarillas, en los cuales se construyen “juntas de expansión”.
- Discontinuidad en la construcción.
Múltiples factores, programados o no, pueden influir en la interrupción de las labores de construcción de las losas del pavimento, por lo cual deben disponerse “juntas de construcción” en sentido longitudinal o transversal, los casos programados corresponden al fin de una jornada de trabajo por ejemplo, y se recomienda hacer coincidir estas situaciones con juntas de contracción o expansión.
- Alabeo.
El pavimento en su uso está sometido a los cambios de temperatura y humedad, durante el día la cara superior del pavimento se encuentra a una temperatura mayor que la inferior, lo que produce una concavidad hacia abajo; sin embargo, el peso propio de la losa y las cargas del tránsito se oponen a esta acomodación generando esfuerzos de tensión en la parte inferior de la losa. Igualmente el contenido variable de agua en la losa produce un efecto similar al del gradiente térmico y su acción combinada es difícil de estudiar desde el punto de vista teórico, este fenómeno es responsable de la formación de grietas transversales y longitudinales por lo cual se deben construir juntas de contracción transversales y juntas longitudinales.

Figura 1 Alabeo en losas.



Fuente: Ing. Luis Ricardo Varela, Curso Actualizado de Pavimentos, Universidad Nacional de Manizales, 2008

La Resistencia a la flexión del concreto entra en consideración dentro del criterio de fatiga del diseño, el cual controla el agrietamiento debido a la repetición de cargas de los camiones, la flexión del pavimento de concreto bajo la carga del tránsito produce esfuerzos de tensión y compresión, la relación entre el esfuerzo y la resistencia a la compresión es muy pequeña para influir el diseño del espesor de la losa.

De otra manera, la relación entre el esfuerzo y la resistencia a la tensión suele ser muy superior, a menudo con valores superiores a 0.5 consecuentemente la resistencia y el esfuerzo a la tensión se utilizan en el diseño de espesores del pavimento la resistencia a la tracción se determina mediante el ensayo de módulo de rotura en viguetas de 6in (15 cm) x 6 in (15 cm) de sección y 30in (75 cm) de longitud.

En cada proyecto debe diseñarse una mezcla de concreto que satisfaga los requerimiento de resistencia y durabilidad, y que a la vez sea la más económica, el módulo de rotura puede hallarse por carga en voladizo, carga central o carga en el tercio central, el ensayo con carga en un tercio de la longitud indica la resistencia mínima en esa sección de la vigueta, mientras que los otros ensayos informan la resistencia de un punto, por lo anterior el ensayo en un tercio de la luz es el adecuado para propósitos de diseño de pavimento en esta metodología.

Normalmente los ensayos para MR se hacen a los 7, 14, 28 y 90 días, los ensayos a los 7 y 14 días deben utilizarse para verificar el cumplimiento de especificaciones y permitir el tránsito inicial sobre los pavimentos los ensayos de resistencia a los 28 días son los recomendados para propósitos de diseño; los resultados a los 90 días son apropiados para el diseño de pavimentos rígidos en aeropuertos.

La duración de un pavimento de concreto está asociada con la calidad de las juntas ya que en estos elementos se generan las principales patologías como el bombeo, las grietas de esquina y borde.

Las condiciones que debe cumplir una junta son:

- Localización adecuada para controlar eficazmente los fenómenos descritos con anterioridad.
- Transmisión adecuada de las cargas a la losa adyacente.
- Protección apropiada de la subrasante frente al agua.

Tabla 1 Dimensiones de Losa para subbases No Estabilizadas.

H (mm)	L (m)	B (m)
152	3,8	3,8
165 a 229	4,6	4,6
>229	6,1	6,1

Fuente: Propia.

H = Espesor de la losa en (mm)

L = Longitud de la losa (m)

B = Ancho de la losa (m)

Tabla 2 Dimensiones de Losa para Subbases Estabilizadas.

H (mm)	L (m)	B (m)
203 a 254	3,8	3,8
267 a 330	4,6	4,6
343 a 406	5,3	5,3 a 5,7
Mayores a 406	6,1	6,1

Fuente: Propia.

2.1.2 Dovelas.

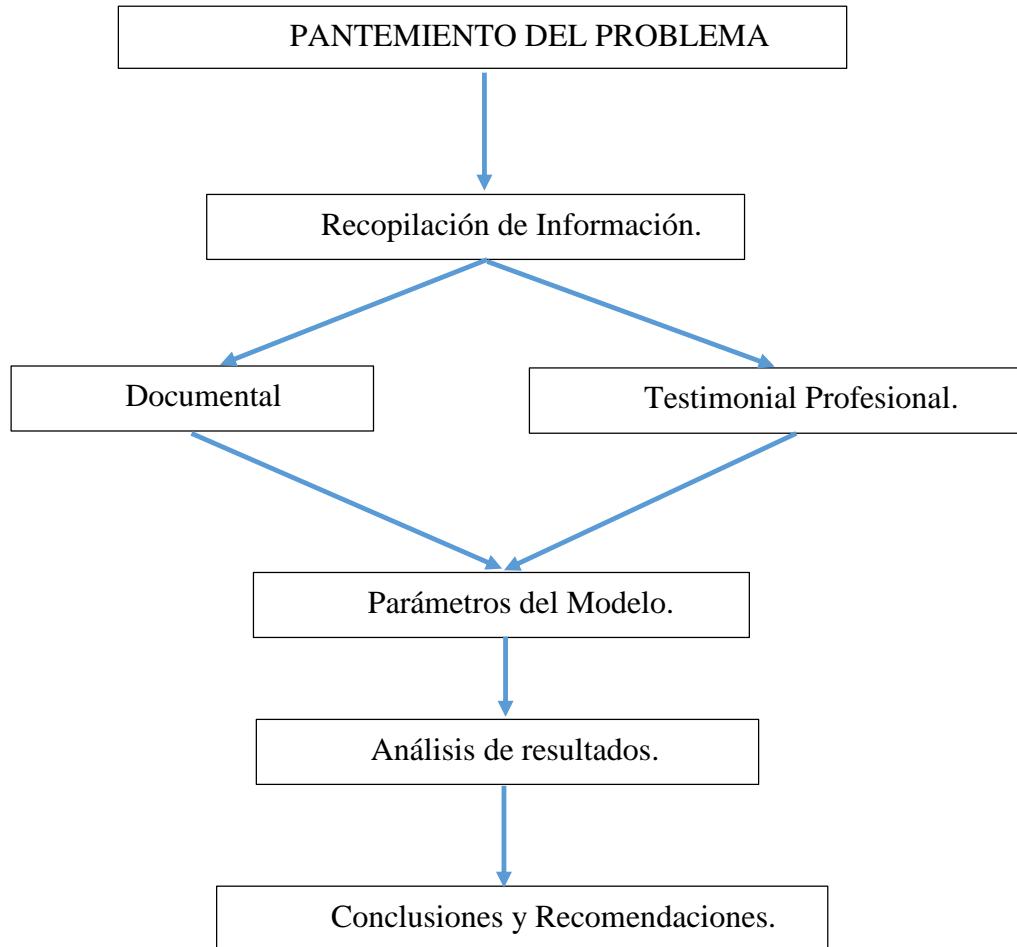
Para condiciones de alta exigencia de tráfico o clima severo se recomienda la instalación de Dovelas también llamadas “Pasajuntas o pasadores de transferencia” mejorando la respuesta de la losa a los esfuerzos de uso y cambios geométricos por temperatura.

Figura 2 Ejemplos de instalación de dovelas.



Fuente: Propia.

3. METODOLOGIA.



3.1 PARÁMETROS DEL MODELO.

Las modelaciones se realizaran con el software EverFe 2.24 diseñado en la Universidad de Main (E.U.A) basado en análisis de elementos finitos con interface gráfica.

Para la condición de borde de las losas el programa lo sume con confinamiento lateral.

Las modelaciones se realizan considerando que la estructura de pavimento consta de 3 capas, una losa de concreto apoyada en una base granular de 15cm y esta a su vez en un afirmado de espesor 30cm. Los parámetros del modelo o datos de entrada son:

En el Concreto.

- *E = 25.000MPa.

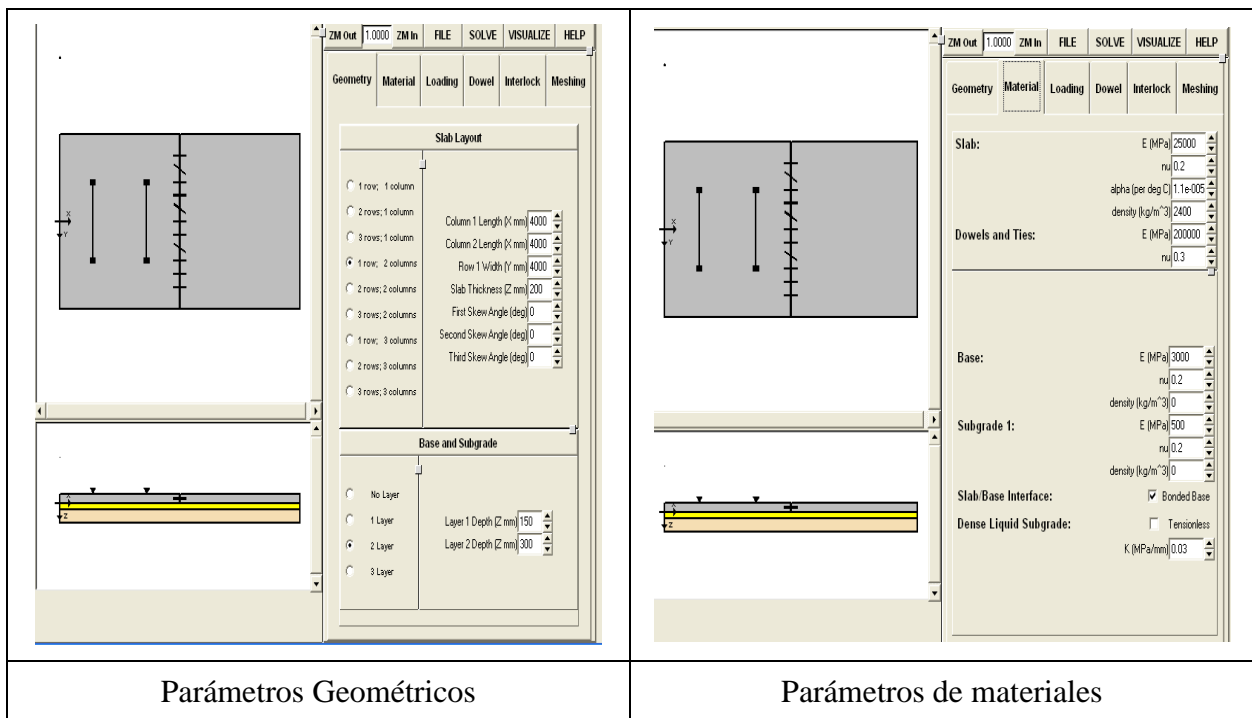
- $M_R = 4.0 \text{ MPa}$
- $\mu = 0.2$
- $\rho = 2.400 \text{ Kg/m}^3$
- $L = 4.000 \text{ mm}$
- $B = 4.000 \text{ mm}$
- $e = 200 \text{ mm}$

*El módulo de “E” para el concreto se determinó según NSR-10, C.8.5.1 con un F'_c de 28MPa

En la Base y Afirmado

- Base $E = 3000 \text{ MPa}$.
- Espesor $e_1 = 0.15 \text{ m}$
- Afirmado $E = 500 \text{ MPa}$.
- Espesor $e_2 = 0.3 \text{ m}$

Figura 3 **Parámetros del Modelo**



Fuente: Propia.

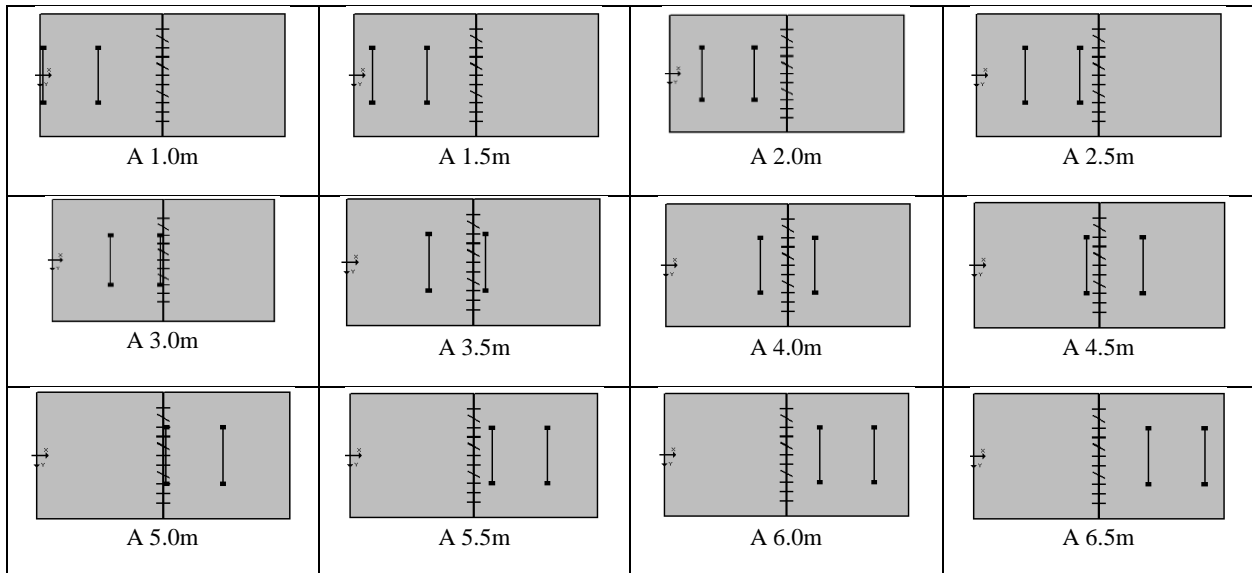
La modelación se realizó desplazando la carga de diseño (Tándem sencillo de 12T) 50cm a la vez verificando los resultados de F_s (Cortante Máximo en las dovelas) y M_s (Momento máximo) en cada dovela, la distancia 0.00 en el borde izquierdo de la primera losa

Modelación 1. Se realiza alterando la orientación de las dovelas 2, 5 y 8 con un giro horizontal de 30°

Modelación 2. Se realiza alterando la orientación de las dovelas 2, 5 y 8 con un giro vertical de 25° .

Modelación 3 Se realiza sin alteración de las dovelas.

Figura 4 Desplazamiento de la carga.



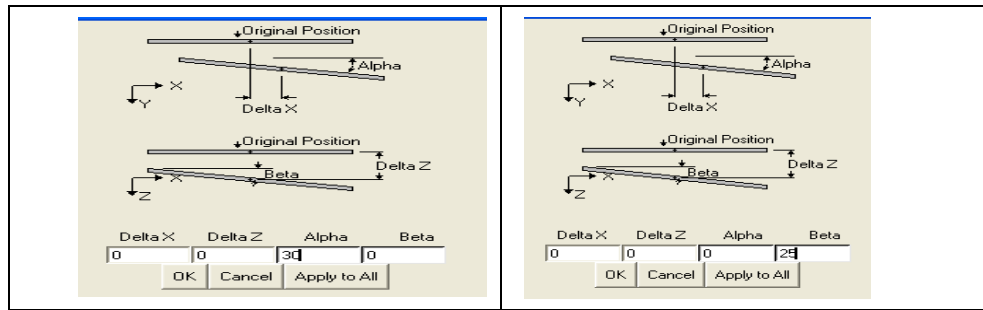
Fuente: propia.

Tabla 3 Relación de posición y distancia de la carga de diseño

Posicion #	Distancia (mm)
1	1.000
2	1.500
3	2.000
4	2.500
5	3.000
6	3.500
7	4.000
8	4.500
9	5.000
10	5.500
11	6.000
12	6.500
13	7.000

Fuente: Propia.

Figura 5 Ángulos de desviación en las dovelas



Fuente: Propia.

4.0 ANALISIS DE RESULTADOS.

De las modelaciones efectuadas en los tres escenarios propuestos desplazando la carga y registrando los valores máximos de “Cortante” y “Momento” en las dovelas.

4.1 DOVELAS DESVIADAS 30° HORIZONTALMENTE.

Tabla 4 Cortantes Max. Escenario 1

Tipo de carga: Tandem Sencillo 120Kn											
Inclinacion horizontal de Dovelas: 30°											
N° Dovela Alterada: 2, 5, 8											
FILE AA											
Posicion de	DOVELA N°										
Carga (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,0	23,58	69,12	24,19	24,39	68,89	24,54	24,51	61,94	24,21	23,926	23,607
1,5	19,17	56,85	19,69	19,84	56,05	19,94	19,92	50,37	19,70	19,48	19,19
2,0	11,08	31,81	11,12	10,97	27,81	10,56	10,71	25,81	11,12	10,99	11,18
2,5	15,97	20,85	18,38	16,63	28,98	11,69	12,15	30,46	18,31	17,28	15,89
3,0	41,85	116,45	100,21	52,08	118,97	43,46	44,94	126,79	100,17	50,67	41,89
3,5	30,20	85,13	30,95	32,95	82,27	31,39	31,56	85,38	30,97	32,46	30,23
4,0	20,93	55,19	21,05	20,84	59,23	21,98	21,42	56,06	21,06	20,55	20,95
4,5	29,915	76,714	30,572	32,142	80,07	30,449	31,046	79,985	30,586	31,596	29,944
5,0	42,733	132,304	91,261	53,801	121,234	44,077	45,538	127,311	91,272	52,32	42,771
5,5	15,857	38,427	19,379	17,167	29,147	12,186	12,524	30,835	19,406	18,82	15,945
6,0	11,349	19,237	10,252	9,965	23,742	9,239	9,522	25,542	10,24	10,564	11,263
6,5	19,126	46,33	19,744	19,869	53,149	19,882	19,883	54,892	19,75	19,486	19,142
7,0	23,579	57,475	24,196	24,385	65,756	24,515	24,492	67,538	24,205	23,908	23,598

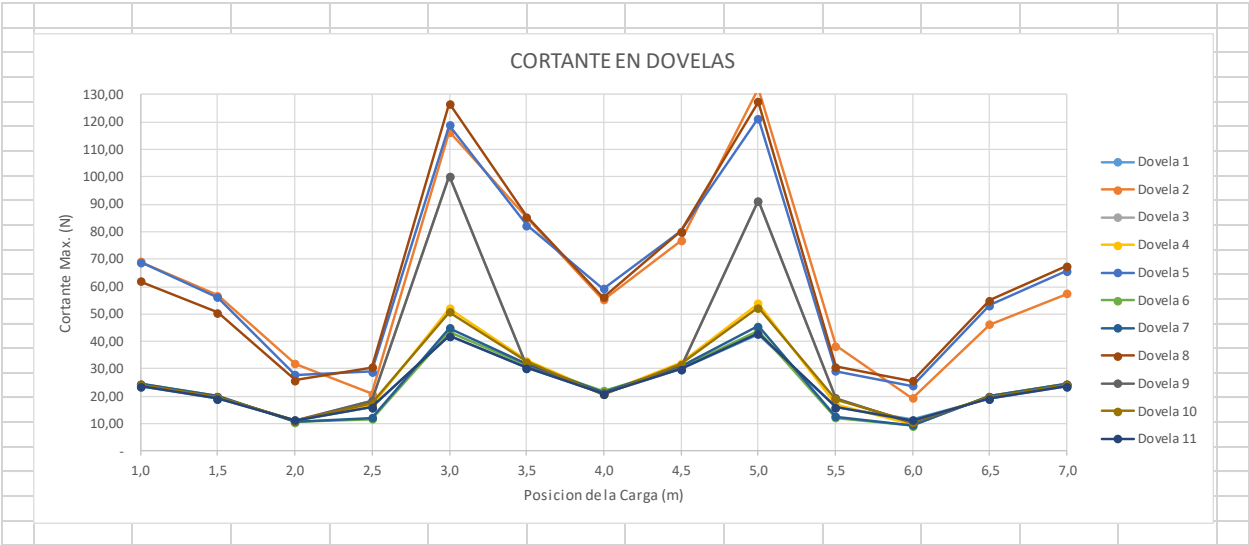
Fuente: Propia.

Figura 6 Momentos Max. Escenario 1

Tipo de carga: Tandem Sencillo 120Kn											
Inclinacion horizontal de Dovelas: 30°											
N° Dovela Alterada: 2, 5, 8											
FILE AA											
Posicion de	DOVELA N°										
Carga (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,0	2.280,99	2.128,42	2.346,73	2.367,66	2.165,88	2.381,53	2.379,05	2.136,48	2.348,06	2.317,78	2.283,22
1,5	1.858,89	1.716,33	1.925,69	1.938,22	1.778,05	1.938,26	1.940,05	1.786,56	1.926,21	1.898,28	1.860,65
2,0	927,77	936,85	1.033,79	1.015,77	937,31	952,16	973,63	965,15	1.034,11	998,52	928,56
2,5	998,25	1.032,01	929,31	1.043,26	972,58	1.041,81	1.029,03	1.149,82	928,92	997,74	998,89
3,0	3.992,51	4.611,36	6.439,36	4.832,68	3.940,17	4.150,85	4.273,16	4.997,42	6.440,89	4.696,89	3.996,06
3,5	2.913,03	2.873,89	2.790,39	3.012,49	2.826,43	3.024,77	3.043,03	2.811,20	2.791,79	2.966,66	2.915,19
4,0	2.027,39	1.869,07	1.939,94	1.968,90	1.909,39	2.142,48	2.081,01	1.851,55	1.940,99	1.940,02	2.029,08
4,5	2.867,68	2.916,97	2.743,04	2.959,47	2.709,52	2.982,18	2.993,09	3.052,86	2.744,28	2.916,58	2.870,20
5,0	4.087,57	4.612,99	6.519,89	4.928,46	4.065,22	4.248,92	4.376,16	4.589,04	6.522,10	4.791,41	4.090,85
5,5	1.051,81	1.164,16	1.006,78	1.113,56	1.099,23	1.098,85	1.087,73	1.060,94	1.007,51	1.068,79	1.052,83
6,0	815,54	879,76	914,78	895,64	823,52	834,63	854,41	848,39	914,60	884,09	815,99
6,5	1.842,93	1.760,36	1.907,56	1.921,41	1.776,12	1.920,96	1.922,94	1.759,57	1.908,14	1.881,39	1.844,14
7,0	2.275,30	2.104,56	2.341,88	2.361,46	2.141,57	2.375,35	2.372,70	2.139,00	2.342,68	2.311,84	2.276,91

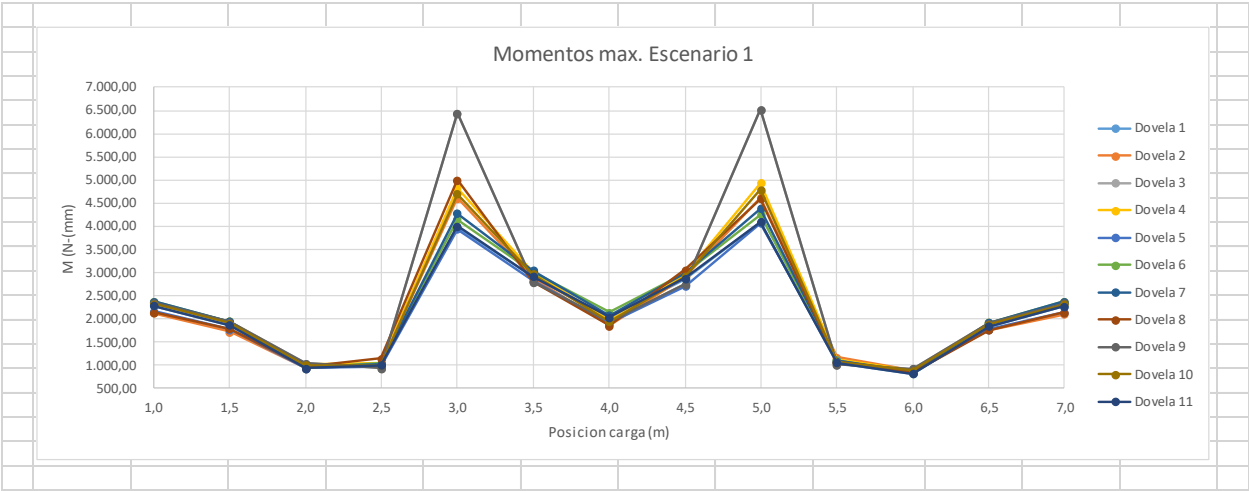
Fuente Propia.

Figura 7 Grafica cortantes Max. Escenario 1



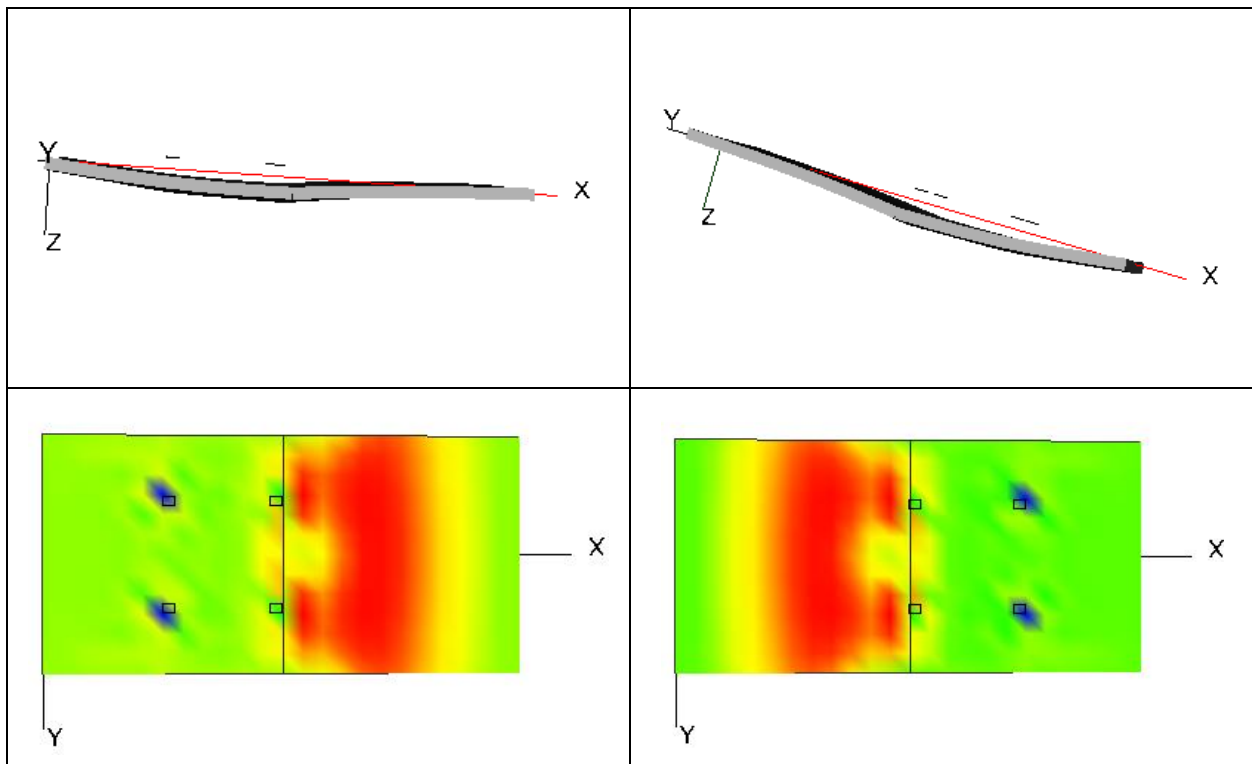
Fuente: Propia.

Figura 8 Grafica Momentos Max. escenario 1



Fuente: Propia.

Figura 9 Deformaciones y esfuerzos Escenario 1



Fuente: Propia.

En las gráficas de cortante se observa que el máximo valor se encuentra entre 125 y 127N en la dovela N°8 cuando el vehículo se encuentra a unas distancias de 3.0m y 5.0m del bore izquierdo de la losa, le siguen en orden de mayor a menor las dovelas 5 y 2 con los más altos valores de cortante es de notar que estas dovelas son las que se desviaron 30° horizontalmente, los valores de los demás elementos presentan un comportamiento similar entre ellos y sus valores oscilan entre 50 y 15N presentando los esfuerzos más altos cuando la carga se encuentra a 3.0 y 5.0m.

En las gráficas de momentos se tiene que los mayores valores van entre 6.440 a 6520Nmm y corresponden a la dovela #9 cuando el vehículo se encuentra en las posiciones de 3.0m y 5.0m, los valores de las demás dovelas son muy similares y oscilan entre 5000 y 1000N-mm, no se aprecia gran afectación por las dovelas desviadas.

En las figuras de deformación y transferencia de esfuerzos para la ubicación de carga en la que mas esfuerzo cortante y momento se aprecia que si hay colaboración de la losa contigua en la distribución de esfuerzos

4.2 DOVELAS DESVIADAS 25° VERTICALMENTE.

Tabla 5 Cortantes max. Escenario 2

Tipo de carga: Tandem Sencillo 120Kn Inclination vertical de Dovelas: 25° N° Dovela Alterada: 2, 5, 8 FILE AAA											
Posicion de	DOVELA N°										
Carga (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,0	26,08	62,57	26,87	27,12	64,00	27,33	27,30	63,81	26,88	26,50	26,08
1,5	19,05	50,86	19,60	19,82	52,00	19,95	19,92	52,12	19,60	19,35	19,07
2,0	11,14	32,89	11,10	32,67	31,60	10,55	10,69	32,67	11,11	10,99	11,16
2,5	15,95	13,18	18,39	16,64	11,80	11,70	12,17	9,96	18,36	18,27	15,90
3,0	41,90	82,68	100,37	52,11	94,82	43,78	44,98	84,02	100,34	50,68	41,90
3,5	30,22	84,02	30,94	32,95	75,14	31,39	31,57	85,42	30,96	32,47	30,23
4,0	20,50	48,84	20,56	20,62	50,42	21,73	21,11	49,68	20,57	20,25	20,51
4,5	29,94	56,66	30,63	32,16	70,92	30,47	31,07	59,02	30,64	31,60	29,95
5,0	42,76	132,43	91,14	53,80	113,57	44,07	45,54	136,26	91,13	52,33	42,77
5,5	20,27	50,94	24,38	22,44	46,50	19,04	19,30	52,31	24,35	23,89	20,30
6,0	11,35	14,07	11,04	10,74	13,22	10,06	10,28	13,06	11,03	10,82	11,30
6,5	19,14	41,41	19,76	19,88	41,92	19,90	19,90	41,76	19,76	19,49	19,15
7,0	28,42	80,34	28,90	29,03	80,92	29,11	29,11	80,83	28,91	28,69	28,43

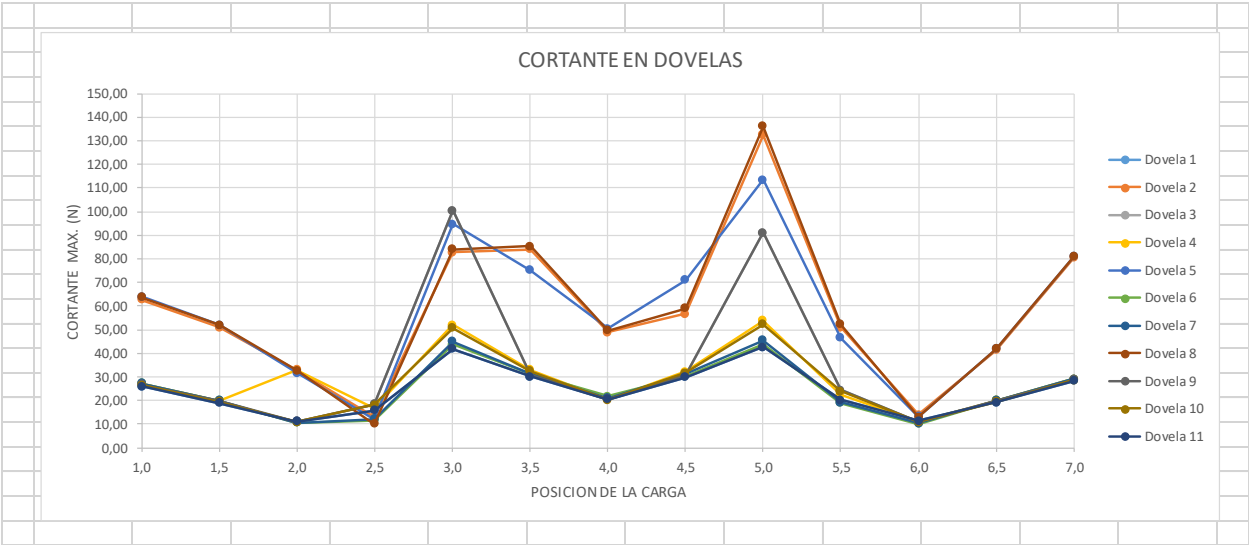
Fuente: Propia.

Tabla 6 Momentos max. Escenario 2

Tipo de carga: Tandem Sencillo 120Kn Inclination vertical de Dovelas: 25° N° Dovela Alterada: 2, 5, 8 FILE AAA											
Posicion de	DOVELA N°										
Carga (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,0	2.543,69	3.278,54	2.630,02	2.657,51	3.382,19	2.677,17	2.673,41	3.364,17	2.631,05	2.590,97	2.545,45
1,5	1.832,42	2.452,29	1.915,14	1.936,48	2.531,29	1.939,15	1.940,52	2.529,14	1.915,84	1.878,57	1.834,07
2,0	926,60	1.377,29	1.032,13	1.390,91	1.347,53	951,16	972,46	1.391,45	1.033,36	998,54	928,16
2,5	997,68	913,79	930,48	1.044,28	1.049,23	1.042,73	1.030,51	910,59	930,21	998,14	999,01
3,0	3.995,29	5.476,14	6.443,96	4.835,07	5.310,09	4.152,94	4.275,86	5.637,22	6.444,92	4.697,30	3.997,26
3,5	2.913,27	3.906,54	2.789,76	3.012,43	3.896,48	3.025,30	3.043,27	3.986,86	2.790,95	2.967,50	2.915,46
4,0	1.984,11	2.447,62	1.895,42	1.942,88	2.621,88	2.116,18	2.049,24	2.500,67	1.896,12	1.906,06	1.985,30
4,5	2.869,44	3.518,70	2.746,02	2.961,08	3.784,45	2.983,43	2.994,67	3.597,09	2.746,75	2.916,67	2.870,87
5,0	4.087,62	6.246,42	6.518,73	4.928,23	5.672,42	4.249,34	4.375,97	6.420,83	6.520,44	4.722,35	4.090,99
5,5	2.120,88	2.697,68	1.899,84	2.173,25	2.824,79	2.260,50	2.217,33	2.789,42	1.900,91	2.079,22	2.124,12
6,0	900,16	1.053,92	1.007,90	987,57	1.026,22	921,49	943,39	1.047,90	1.007,70	970,56	899,00
6,5	1.843,62	2.325,28	1.908,15	1.922,10	2.372,74	1.921,74	1.923,88	2.369,55	1.908,74	1.881,83	1.844,66
7,0	2.755,50	3.745,02	2.802,20	2.816,52	3.792,76	2.826,57	2.825,05	3.784,72	2.803,43	2.782,00	2.757,65

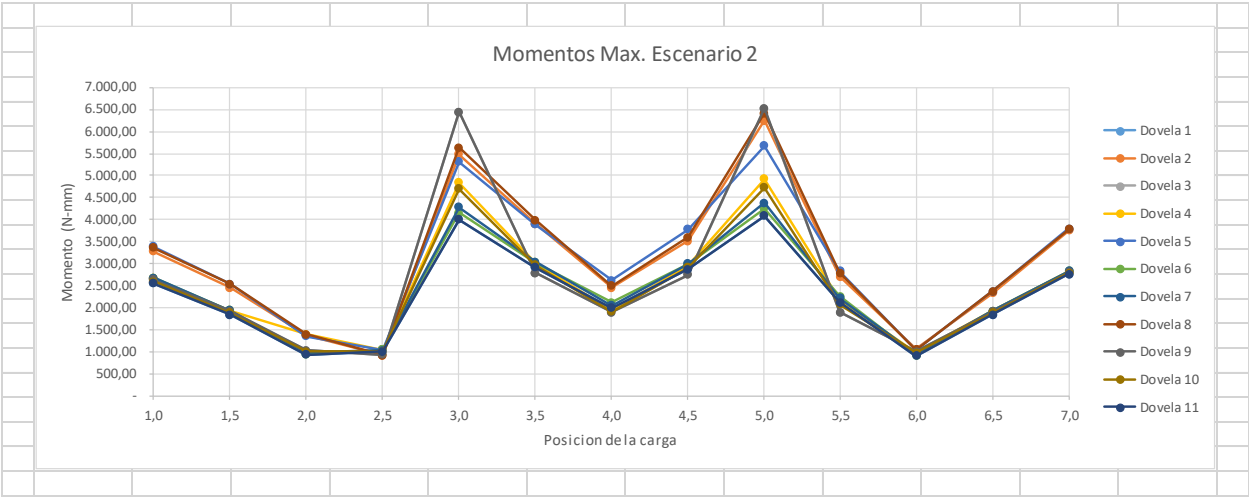
Fuente: propia

Figura 10 Cortantes max. Escenario 2



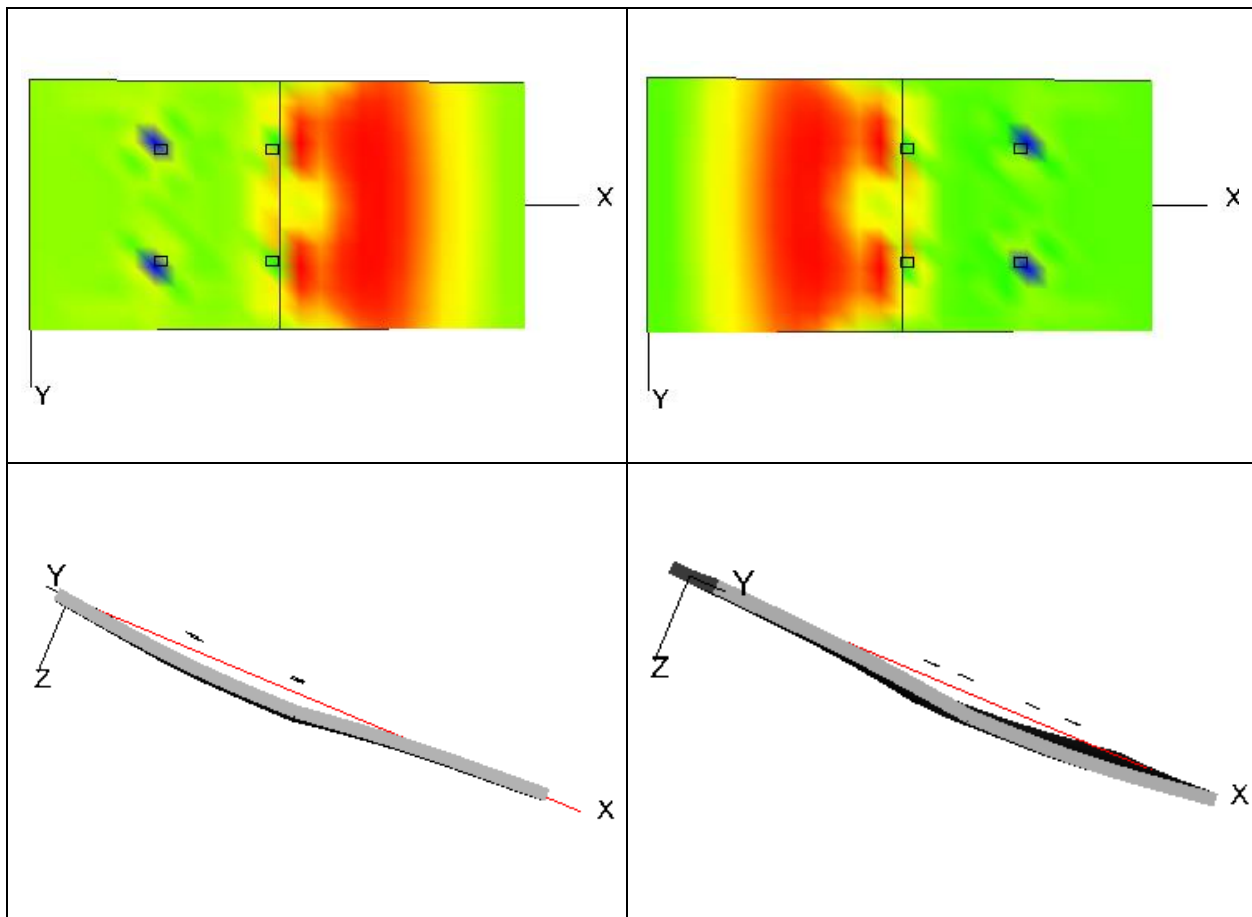
Fuente: Propia.

Figura 11 Momentos max. Escenario 2



Fuente: Propia.

Figura 12 Esfuerzo y deformación. Escenario 2



Fuente: Propia.

En el escenario 2 las gráficas de cortante se observa que el máximo valor se encuentra en 136N en la dovela N°8 cuando el vehículo se encuentra a unas distancias de 5.0m del bore izquierdo de la losa al igual que en la anterior modelación le siguen en orden de mayor a menor las dovelas 5 y 2 con los más altos valores de cortante es de mencionar que estas dovelas son las que se desviaron 25° verticalmente, se puede observar que los valores de estas dovelas son más dispersos que los valores de las demás dovelas.

En las gráficas de momentos se tiene que los mayores valores van entre 6.444 a 6.520Nmm y corresponde a la dovela #9 cuando el vehículo se encuentra en las posiciones 3.0m y 5.0m, al igual que con el escenario 1 el valor de los momentos no se aprecia influenciado por la desviación de las dovelas.

En las figuras de deformación y transferencia de esfuerzos para la ubicación de carga en la que mas esfuerzo cortante y momento se aprecia (3.0 y 5.0m) si hay colaboración de la losa contigua en la distribución de esfuerzos

4.3 DOVELAS SIN DESVIACIÓN.

Tabla 7 Cortantes max. Dovelas sin cambio.

Tipo de carga: Tandem Sencillo 120Kn											
Sin alteracon de dovelas											
N° Dovela sin alterar											
FILE AAAA											
Posicion de	DOVELA N°										
Carga (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,0	23,62	23,95	24,24	24,43	24,55	24,59	24,55	24,43	24,24	23,95	23,62
1,5	23,27	23,66	23,96	24,17	24,24	24,31	24,28	24,17	23,96	23,66	23,27
2,0	15,90	16,89	17,38	17,09	16,64	16,50	16,64	17,07	17,37	16,88	15,90
2,5	15,91	18,29	18,35	16,63	12,18	11,70	12,16	16,60	18,32	18,28	15,89
3,0	41,93	50,71	100,16	52,16	45,02	43,83	45,02	52,16	100,17	50,71	41,93
3,5	30,25	32,49	31,01	33,00	31,62	31,44	31,62	33,00	31,01	23,49	30,25
4,0	34,13	33,21	33,86	33,70	34,95	35,91	34,95	33,70	33,86	33,21	34,13
4,5	34,92	35,94	35,92	37,69	36,41	35,73	36,42	37,70	35,92	36,94	34,93
5,0	42,81	52,37	91,31	53,88	45,61	44,16	45,61	53,88	91,28	52,37	42,81
5,5	20,31	23,90	24,42	22,48	19,36	19,09	19,48	22,45	24,39	23,88	20,30
6,0	15,50	16,55	17,16	16,80	16,31	16,06	16,30	16,79	17,15	16,55	15,50
6,5	19,16	19,51	19,78	19,90	19,92	19,92	19,92	19,90	19,77	19,51	19,16
7,0	23,62	23,93	24,24	24,43	24,54	24,56	24,54	24,43	24,24	23,93	23,62

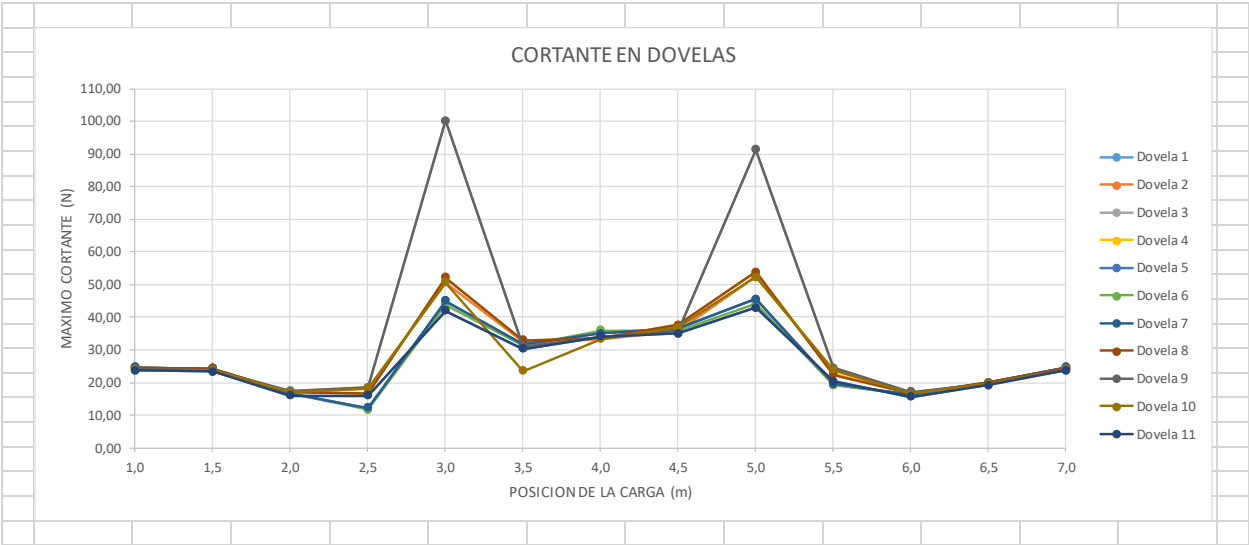
Fuente: Propia.

Tabla 8 Momentos max. Dovelas sin cambio.

Tipo de carga: Tandem Sencillo 120Kn											
Inclinacion vertical de Dovelas: 0°											
N° Dovela Alterada: Ninguna											
FILE AAAA											
Posicion de	DOVELA N°										
Carga (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,0	2.284,80	2.319,86	2.350,79	2.371,39	2.382,88	2.385,77	2.382,87	2.371,53	2.350,75	2.319,88	2.284,62
1,5	2.273,10	2.322,10	2.359,43	2.377,20	2.380,67	2.379,34	2.380,56	2.377,01	2.359,23	2.322,00	2.273,13
2,0	1.906,83	2.054,22	2.130,52	2.094,49	2.007,41	1.964,74	2.006,58	2.093,82	2.130,07	2.054,08	1.906,96
2,5	999,15	998,68	930,31	1.044,60	1.031,00	1.043,01	1.030,54	1.044,18	929,96	998,50	999,16
3,0	3.999,65	4.700,47	6.445,47	4.839,05	4.280,20	4.157,95	4.280,29	4.839,13	6.445,61	4.700,54	3.999,38
3,5	2.917,48	2.969,57	2.795,35	3.017,20	3.047,55	3.029,95	3.047,55	3.017,06	2.795,25	2.969,53	2.917,25
4,0	4.217,51	3.995,40	3.962,80	4.059,26	4.329,87	4.461,38	4.329,79	4.059,14	3.962,71	3.995,42	4.217,62
4,5	3.366,09	3.430,92	3.283,30	3.494,56	3.591,23	3.517,67	3.531,20	3.494,78	3.283,36	3.430,95	3.366,12
5,0	4.094,16	4.765,72	6.527,58	4.935,52	4.382,63	4.256,41	4.382,69	4.935,03	6.527,25	4.795,61	4.094,20
5,5	2.126,47	2.082,30	1.905,69	2.178,59	2.223,47	2.266,20	2.222,68	2.178,22	1.905,28	2.082,08	2.126,43
6,0	1.842,01	1.993,02	2.072,73	2.031,48	1.939,73	1.896,47	1.939,06	2.030,86	2.072,28	1.992,77	1.841,96
6,5	1.845,64	1.883,17	1.910,40	1.924,46	1.926,04	1.924,10	1.926,01	1.924,39	1.910,44	1.883,17	1.845,69
7,0	2.278,71	2.314,17	2.345,66	2.365,31	2.375,39	2.379,26	2.376,38	2.365,26	2.345,62	2.314,17	2.278,74

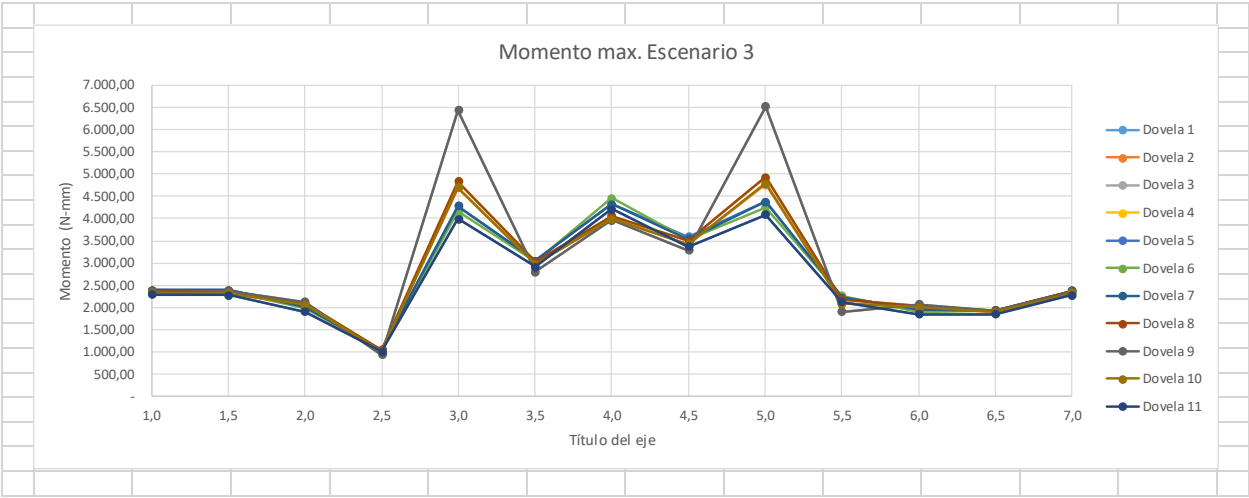
Fuente: Propia.

Figura 13 Cortantes max. Escenario3



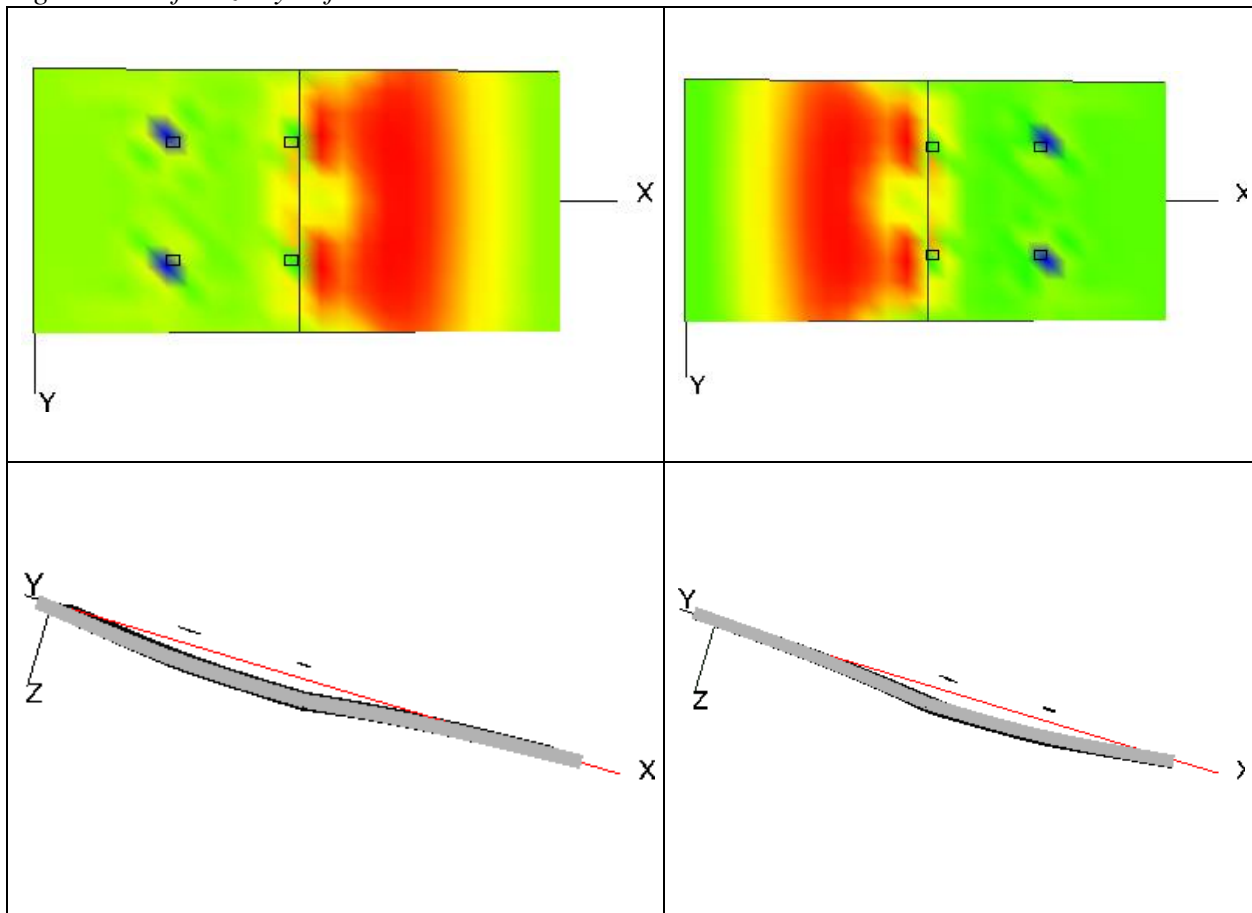
Fuente: Propia

Figura 14 Momentos max. Escenario 3



Fuente: Propia.

Figura 15 Esfuerzos y deformaciones Escenario 3



Fuente: Propia.

En el escenario 3 el cual es nuestro escenario patrón se evidencia uniformidad en los esfuerzos cortantes de todas las dovelas, oscilando 10 de las dovelas entre 50N para su punto máximo y 20N para el mínimo, la dovela # 9 como en los casos anteriores presenta dos picos de esfuerzos superiores a las demás en las posiciones 3.0 y 5.0m con respecto al borde izquierdo de la primera losa sus valores son para estas ubicaciones 100 y 91N-mm respectivamente.

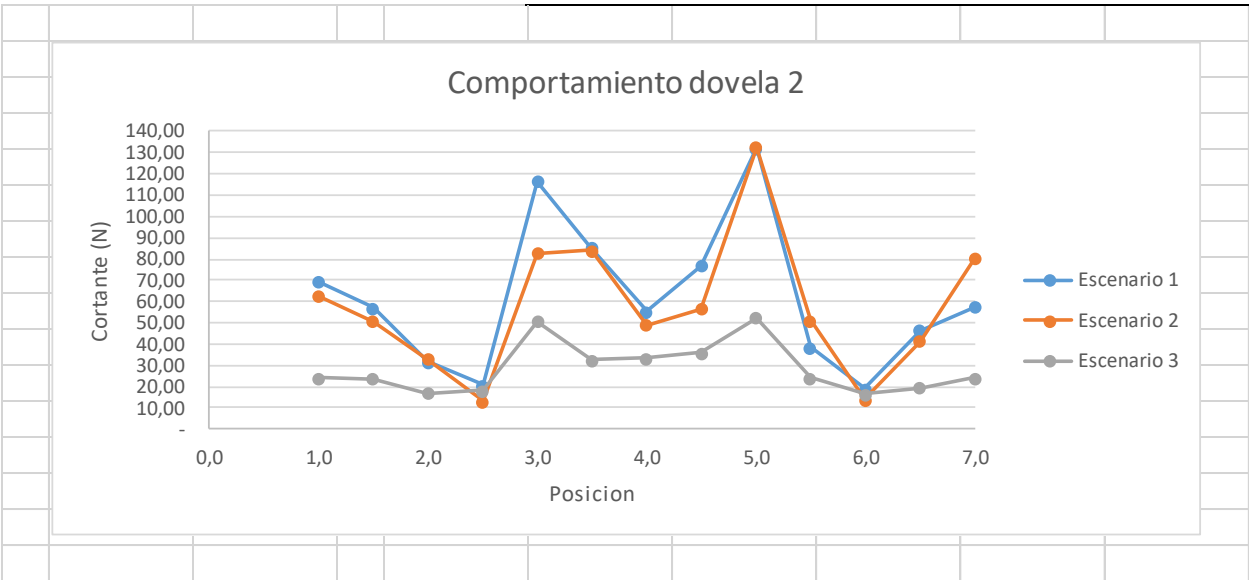
Al graficar los momentos máximos sus valores son muy similares entre si, mostrando un comportamiento esperado y controlado a excepción e la dovela # 9 a cual muestra unos picos de valores en las posiciones 3.0 y 5.0 equivalentes a 6.445 y 6527 respectivamente.

4.4 COMPARATIVO AL ESFUERZO CORTANTE DE LAS DOVELAS 2, 5 Y 8

Tabla 9 Comparativo esfuerzo cortante dovelas 2, 5 y 8 escenarios 1, 2 y 3

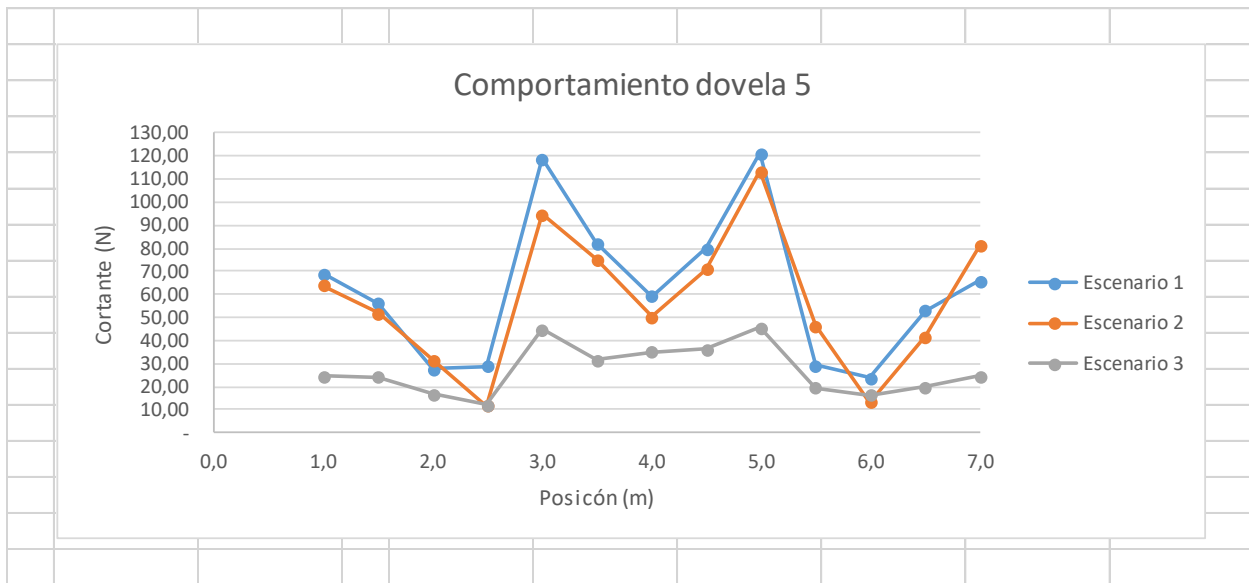
	Escenario 1 Cortante (N)			Escenario 2 Cortante (N)			Escenario 3 Cortante (N)		
Posicion de	Dovelas			Dovelas			Dovelas		
Carga (m)	2	5	8	2	5	8	2	5	8
1,0	69,12	68,89	61,94	62,57	64,00	63,81	23,95	24,55	24,43
1,5	56,85	56,05	50,37	50,86	52,00	52,12	23,66	24,24	24,17
2,0	31,81	27,81	25,81	32,89	31,60	32,67	16,89	16,64	17,07
2,5	20,85	28,98	30,46	13,18	11,80	9,96	18,29	12,18	16,60
3,0	116,45	118,97	126,79	82,68	94,82	84,02	50,71	45,02	52,16
3,5	85,13	82,27	85,38	84,02	75,14	85,42	32,49	31,62	33,00
4,0	55,19	59,23	56,06	48,84	50,42	49,68	33,21	34,95	33,70
4,5	76,714	80,07	79,985	56,66	70,92	59,02	35,94	36,41	37,70
5,0	132,304	121,234	127,311	132,43	113,57	136,26	52,37	45,61	53,88
5,5	38,427	29,147	30,835	50,94	46,50	52,31	23,90	19,36	22,45
6,0	19,237	23,742	25,542	14,07	13,22	13,06	16,55	16,31	16,79
6,5	46,33	53,149	54,892	41,41	41,92	41,76	19,51	19,92	19,90
7,0	57,475	65,756	67,538	80,34	80,92	80,83	23,93	24,54	24,43

Figura 16 Comportamiento al esfuerzo cortante dovela 2 Escenarios 1, 2 y 3



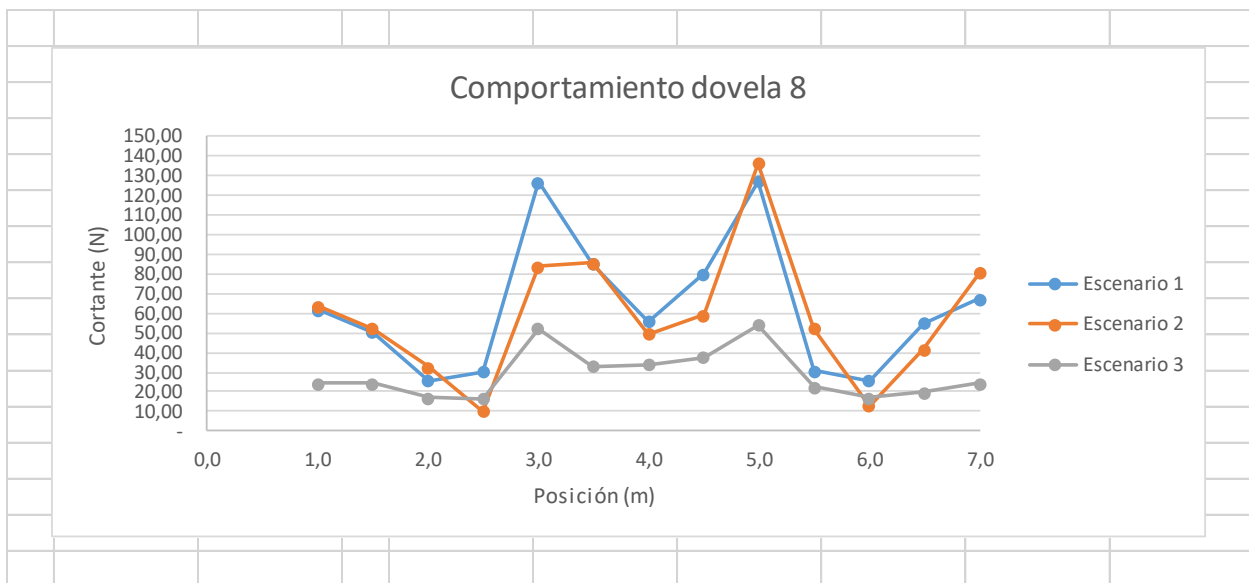
Fuente: Propia

Figura 17 Comportamiento al esfuerzo cortante dovela 5, escenarios 1, 2 y 3



Fuente: Propia.

Figura 18 Comportamiento al esfuerzo cortante dovela 8, escenarios 1, 2 y 8



Fuente: Propia.

En la figura 16 donde se grafica el comportamiento al esfuerzo cortante de la dovela “2” en los tres escenarios planteados es notable la diferencia que presenta en los dos primeros escenarios con respecto al escenario número 3, que presenta la dovela correctamente instalada en valor Max. Es 132N cuando la carga se desplaza a 5.0m del pinto de origen correspondiente al escenario N°1 el

mínimo es de 14,07N con ubicación del vehículo de prueba a 6.0m del origen generado en el escenario N°2.

En la figura N°17 el comportamiento de la dovela 5 es similar al anterior caso, se presentan los mayores esfuerzos en los escenarios donde se desvía la dovela de manera vertical u horizontalmente, el mayor valor se registró en la posición a 5.0m del origen y es de 121.2N en el escenario 1 siguiendo el valor de 113,7 para el escenario 2, el mínimo valor es de 13.2N en la posición a 6.0m en el escenario 2.

En la figura 18 el comportamiento de la dovela 8 no es diferente a los anteriores el valor máximo corresponde a 136.2N en el escenario N°2 y 127.3N en el escenario N°1, el menor mavor es de 13.01N en el escenario N°2.

5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Se concluye que la transferencia de carga con alteración de 3 dovelas en una configuración de 11 se mantiene, mas sin embargo es posible la disminución de vida útil de las losas debido a la mala distribución de los esfuerzos cortantes.
- Se encuentra que la instalación mal realizada de las 3 dovelas (2, 5 y 8) en los escenarios 1 y 2 comparado contra el escenario 3 ocasiona cambio en el equilibrio de los elementos para transferencia, puesto que las dovelas mal instaladas asumirían esfuerzos cortantes muy por encima de sus iguales bien instaladas.
- Se concluye que el incremento de esfuerzos cortantes en los elementos mal instalados (dovelas 2, 5 y 8) es de 252% para la dovela # 2, 260% para la dovela # 5 y 244% para la dovela # 8.
- En lo que respecta a los momentos actuantes en las dovelas no se encuentra variación importante de los datos de los tres escenarios lo que a juicio del investigador no representa una causa para daño prematuro de la losa.
- Los valores de cortante y momento encontrados en la dovela # 9 para las posiciones 3.0 y 5.0 se explican por qué son los instantes en los cuales la llanta del vehículo de prueba se encuentra sobre el elemento (dovela).
- Se recomienda tener especial cuidado en la instalación de los pasadores de transferencia y más aun con aquellos que se localizaran en la huella del vehículo debido a que estos son propensos a asumir mayor esfuerzo.
- Se recomienda a las directivas de la facultad ampliar el estudio sobre el comportamiento de estos elementos utilizando una configuración de eje y carga diferente.

BIBLIOGRAFIA.

CEMEX. Concreto. [En línea]. México. [Consulta: 11 Diciembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.cemexmexico.com/Concreto.aspx>>.

CEMEX. Manual de Diseño y Construcción de Pisos Industriales. Bogotá: La Empresa, 2011. 91 p.

GARZON VERGARA, Diego. Eficiencia en la transferencia de cargas en juntas transversales de pavimento rígido reforzado con fibras metálicas. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2009. 287 p.

LONDOÑO NARANJO, Cipriano y ALVAREZ PABÓN, Jorge Alberto. Manual de diseño de pavimentos de concreto: para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Medellín: Instituto Colombiano de Productores de Cemento, ICPC, 2008. 114 p.

EVERFE. Software for the 3D Finite Element Analysis of Jointed Plain Concrete Pavements) . [En línea]. Washington. [Consulta: 23 octubre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.civil.umaine.edu/everfe/>>.

SÁNCHEZ SABOGAL, F. Módulo 3. Esfuerzos en Pavimentos Rígidos en línea. Bogotá: Escuela de Ingenieros [citado 20 Noviembre, 2017]. Disponible en Internet: <URL: http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%203.pdf>.

BOTINA RODRIGUEZ, Lina María y RODRIGUEZ FONSECA, América Yuditza. Modelación numérica de barras de transferencia en pisos industriales de concreto rígido. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2014. 56 p.